我国环境污染与健康基础研究的若干新需求

刘 倩* 曲广波 陆达伟

中国科学院生态环境研究中心 环境化学与生态毒理学国家重点实验室 北京 100085

摘要 良好的生态环境是建设世界科技强国的重要保障。我国目前面临复杂的环境污染形势，虽然近年来的污染控制卓有成效，但环境污染的毒性效应造成的急性或慢性疾病高发风险不容忽视。目前，我国许多区域性疾病高发的环境污染诱因尚不明确。解决这些环境健康问题亟待开展多学科协同的基础研究，建立“污染过程—人体暴露—人体响应—疾病发生”的全局研究路线，争取在暴露组学、超痕量测量与溯源方法学、分子流行病学、环境大数据和人工智能等交叉领域取得突破，实现健康风险导向的精准污染防控。

关键词 环境污染，健康效应，暴露，病因学，毒理学

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20210409001

自1962年美国作家Rachel Carson所著的《寂静的春天》（*Silent Spring*）出版以来，环境污染开始引起社会和公众的广泛关注。20世纪一系列环境健康损害事件已经给人类社会敲响了警钟，如英国伦敦烟雾事件、美国洛杉矶光化学烟雾事件、日本水俣病事件和米糠油事件等。这些环境健康事件也极大推动了环境立法的进程及环境科学学科的发展。进入21世纪以来，突发的、急性的环境污染所导致的健康损害事件有所减少，但环境污染带来的长期的、慢性的健康危害不容忽视，且与环境污染因素相关的疾病发病率还在持续增高。

在我国，由于当前环境污染状况的严峻性和复杂性，环境污染所导致的健康问题已经凸显[1]。环境健康问题既是关系社会安定的重要民生问题，又是环境科学基础研究的前沿领域。环境与人体均为极端复杂的体系，这两者之间相互作用的复杂性给环境科学研究带来了前所未有的挑战。虽然目前各级政府和部门都加强了污染防治的工作力度，但相关领域基础研究的相对滞后，使得防治工作缺乏基础研究的理论指导与支撑，易陷入盲人摸象的困局。要打破环境健康研

*通信作者

资助项目：国家自然科学基金（21825403、91843301、22050001），中国科学院青年创新促进会会员项目（2017058）

修改稿收到日期：2021年5月6日

究的困局，必须从基础研究着手，推动学科交叉，从根源上厘清不同疾病与环境污染之间的因果关系，从而为健康风险控制政策的制定提供科学的依据。

1 环境污染是危害我国国民健康的重要因素

1.1 我国环境污染面临的新形势

环境暴露具有多因子复合和时空差异大的特点，因此揭示与外界环境暴露相关的疾病发生机制需要具备全局和系统的研究理念。由于人口规模大、区域差异性大、发展迅速但不平衡等特点，我国的环境污染也体现出显著不同于发达国家的特征：① 高度复合。点源与面源污染共存，生活污染和工业排放叠加，一次排放污染与二次污染相互复合。② 高度压缩。整个工业化过程中的污染情况在较短的时间内集中呈现。这 2 点导致发达国家在污染治理方面的一些经验无法直接照搬到我国，现有的知识理论框架也需要通过我国的基础研究后进行更新，如对于复合污染健康风险的认识。

由于经济发展的不平衡，部分欠发达地区特别是农村地区的公共卫生仍存在一些亟待解决的问题。例如，劣质固体燃料燃烧所导致的室内空气污染，以及缺乏清洁用水和基本卫生设施所引发的疾病等问题突出。一些长期存在的环境问题，如大气污染、水体富营养化、工业排放污染的威胁仍然严峻。许多农村地区正遭受着农药残留和固体废弃物处置不当带来的污染，而城镇居民则暴露于高水平的室外空气污染。此外，食品污染、饮用水污染、地下水污染、重金属污染、抗生素滥用和密集畜牧水产养殖业带来的污染都极大地加剧了我国环境污染的复杂性。

经济社会的快速发展也带来了一些新的健康风险。例如，以卤代阻燃剂、全氟化合物等高产量化学品为代表的新污染物、电子垃圾、纳米材料、微塑料污染等。而对于大气污染，随着大气细颗粒物（$PM_{2.5}$）的下降，控制难度更大的臭氧（O_3）污染问题日益凸显。如何从众多风险因素中准确辨识出关键致病环境因素，对环境健康研究是个极大的挑战。

1.2 与环境污染相关的区域性高发疾病及应对措施

研究表明，人类 70%—90% 的疾病是遗传因素和环境暴露等多种因素共同作用的结果[2,3]。例如，心血管疾病、免疫系统疾病、神经退行性疾病、不良妊娠、癌症等均已被证明与环境暴露密切相关。以癌症为例，据国家癌症中心于 2020 年 12 月发布的“2015 中国癌症发病与死亡统计”数据，2015 年全国恶性肿瘤估计新发病例数为 392.9 万例，平均每天超过 1 万人被确诊为癌症，发病率与死亡率呈现逐年上升的趋势[4]。不同区域之间的发病率存在明显差异，这些差异可能主要归因于生活方式、卫生条件和环境污染。癌症发病率城市高于农村，而死亡率农村高于城市。肺癌仍是我国死亡率最高的癌症，而大气 $PM_{2.5}$ 污染在中国的肺癌死因中占到 23.9%，远高于全球平均水平（16.5%）[4]。

空气污染带来的健康风险负担逐渐加重。2017 年，《柳叶刀》（*The Lancet*）发表的 2015 年全球疾病负担相关研究表明，大气 $PM_{2.5}$ 污染导致全球每年 420 万人死亡，占到全死因的 7.6%，在所有的健康风险因素中排名第 5（前 4 名分别为高血压、吸烟、高血糖和高血脂）；而中国是受空气污染健康危害最严重的国家之一，每年大气 $PM_{2.5}$ 污染导致 110 万人死亡，相比 1990 年增加了 17.5%[5]。2019 年，《柳叶刀》发表的 2017 年中国疾病负担相关研究表明，空气污染为我国排名第 4 的健康风险因素（前 3 名分别为高血压、吸烟和高钠饮食）[6]。

制定强有力的空气污染控制政策是降低全国疾病负担的有效的方式。2013 年，中国政府发布了《大气污染防治行动计划》，这一政策的实施显著降低了与环境空气污染有关的死亡率。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中明确提出，要深入打好污染防治攻坚战，

包括：强化多污染物协同控制和区域协同治理；加强城市大气质量达标管理，推进 $PM_{2.5}$ 和 O_3 协同控制，基本消除重污染天气；加快挥发性有机物排放综合整治；基本消除劣Ⅴ类国控断面和城市黑臭水体；重视新污染物治理等。

2 环境污染与疾病的内在关联不易辨析

2.1 环境健康问题的4种模式

根据环境污染导致疾病的方式不同，我国目前的公众环境健康问题大体上可以分为4类。

（1）病因明确的小范围高发疾病。如：某些由明确污染源导致的“癌症村”，以及由工业排放水体污染导致的下游高发疾病等。此类环境健康问题，因污染源明确，制定控制政策比较容易，而控制阻力往往来自执行过程。

（2）污染导致的大范围高发疾病。如：由空气污染导致的上呼吸道感染、慢性阻塞性肺病、心血管疾病高发，以及由高砷地下水导致的地方性砷中毒等。此类环境健康问题影响面极广，但由于污染来源和成因复杂，治理难度大，需科学揭示关键致病组分和来源，从不同层面上制定综合的控制政策。

（3）病因不明的区域性高发疾病。如：太行山地区的食管癌高发，以及云南宣威地区的肺癌高发等。此类环境健康问题对基础研究挑战最大，需通过研究范式的创新，综合考虑多种环境暴露和遗传因素，才能辨析出真正的致病因素，从而为健康风险控制提供科学依据。

（4）有空间局限性的小范围高发疾病。研究表明，居住场所越靠近城市主干道，心血管疾病和神经退行性疾病的发病率越高[7,8]。此类问题由于混杂因素较多，虽然风险易于规避，但内在科学证据仍然不足。

2.2 高发疾病的环境诱因难以辨析

很多区域性高发疾病的环境污染诱因仍不明确。大气 $PM_{2.5}$ 污染是我国目前面临的最为紧迫的环境问题。现有研究表明，大气 $PM_{2.5}$ 污染与心血管疾病、呼吸道疾病、肿瘤等多种疾病都有密切关系。但是，由于 $PM_{2.5}$ 组分和来源极其复杂，其诱发疾病的关键毒性组分及致病机制仍不清楚。此外，一般认为癌症发生的风险因素可分为内因（如遗传因素、DNA复制随机错误）和外因（即环境因素，如吸烟、酒精、紫外辐射、空气污染、致癌化学品、环境毒素等），而癌症是在内因和外因的共同作用下的结果。但是，内因和外因在癌症发生中哪个起到更重要的作用，目前仍极具争议。例如，Tomasetti 等[9,10]通过研究美国癌症登记资料库及423个国际癌症数据库，发现不同器官组织的癌症风险与其干细胞分裂总数具有强相关性；因此，认为癌症主要归因于健康细胞的DNA在复制过程中发生的随机错误（即“Bad luck”假说），而环境和遗传因素只占癌症风险的1/3。然而，Wu 等[11]认为超过70%的癌症风险来自外部环境因素。

我国很多区域性癌症高发的病因仍不明确。例如，《2012中国肿瘤登记年报》数据显示云南宣威肺癌发病率高达93人/10万人，位居全国第一[12]。对宣威肺癌的研究从20世纪70年代开始至今已有数十年之久，有研究认为室内燃煤空气污染是宣威肺癌高发的主要危险因素，其中多环芳烃（PAHs）、石英、氡等被猜测与肺癌高发有关，但其病因仍有争议[13,14]。又如，太行山地区中的某些区域记录着世界最高的食管癌发病率（100人/10万人）。尽管已有数十年的研究和干预，但这些区域的致癌因素仍未能得到广泛接受的科学解释。

3 国际相关领域研究现状

欧美等发达国家数十年前即在国家层面部署了环境污染毒理评价与健康影响战略研究计划，并投入大量资金支持相应的基础研究。

（1）欧洲。欧盟通过政策性导向支持欧盟第六

和第七框架计划相关项目研究，并与经济合作与发展组织（OECD）合作建立“评估方法”。《欧洲环境与卫生行动计划2004—2010》（*The European Environment & Health Action Plan 2004-2010*）已经顺利实施。英国、法国、挪威、希腊、立陶宛6个国家13家合作机构基于6个母婴队列联合开展了人类生命早期暴露组（HELIX）研究，期望获取欧洲人群的早期暴露和儿童时期健康的关系。该机构测量了32 000多对母婴的环境暴露特征及其对儿童成长、发育、健康的影响，在1 301个血液和尿液样本中共检出45种外源污染物或其代谢物[15]。已有10个欧洲出生队列——BAMSE（瑞典）、GASPII（意大利）、GINIplus与LISAplus（德国）、MAAS（英国）、PIAMA（荷兰）和4个INMA队列（西班牙），涉及空气污染与肺炎、哮喘、中耳炎等疾病之间的相关性。比利时于2017年启动了“EXPOsOMICS”计划，试图通过对空气污染和水污染健康效应的研究将外暴露和内暴露整合起来，以建立暴露组学研究方法。

（2）美国。美国启动了“Tox21”计划，通过科学导向，自上而下地开展系统的“毒性通路”研究，以发现新的分子生物学靶点，揭示毒性作用模式。美国国立环境健康科学研究所（NIEHS）的“环境与健康新战略计划（2012—2017）”则充分关注了低剂量暴露、暴露组学、表观遗传改变、靶点与通路等问题。为了推动全环境关联研究及人类暴露组计划，美国发起成立了暴露组联盟。2012年，美国政府发布《生物监测国家战略》，开展国家生物监测项目（NBP）研究，旨在评估人群营养状态及美国人群对环境化学品和有毒有害物质的暴露水平。2013年，美国成立了HERCULES暴露组研究中心，该中心致力于提供新的暴露组学研究方法。

（3）日本。日本于2011年启动了全国范围的出生队列研究“环境和儿童研究”（The Japan Environment and Children's Study），拟评估一系列环境因素对儿童健康和发育的影响。

由上可见，在环境健康研究方面，发达经济体早已提前出发。然而，上述大科学计划或工程多针对已知的特定污染物，对污染物的非靶向全局分析较少，系统方法学还不完善；虽然深化了对污染物在人体内赋存水平的认识，但在探明疾病和污染的因果关系方面的进展不突出。此外，由于不同地区污染特征的巨大差异，欧美等发达国家的研究结论和控制策略不能直接推广到我国。

4 我国环境健康基础研究中的薄弱环节

解决当今世界环境健康问题的“瓶颈”仍然在于基础研究。环境中的污染物数目极其庞大，其理化性质、赋存水平、时空分布、毒性效应等差异巨大。从中厘清其与人体疾病发生发展的关系，需借助环境科学、医学、化学、生命科学、地球科学、统计学等多方工具，其中存在4个薄弱环节。

（1）研究方法学不完善，缺乏暴露标志物。厘清环境暴露与疾病发生的关系，需将外部暴露和内源生化响应有效整合起来，建立“污染过程—人体暴露—人体响应—疾病发生”的全局研究路线。特别是在人体暴露的环节，需将环境外暴露和人体内暴露进行有效的结合，才能找到与疾病相关的真正影响因素。然而，由于个体差异和人口流动性，使得建立与外暴露响应的人群内暴露评价模型极为困难，导致环境外暴露和人体内暴露研究仍处于脱钩状态。这一环节依赖于可靠的暴露标志物，包括可直接测量的化学物质（如血液中的外源污染物）或是通过生理机制以各种方式修饰过并仍能识别的化合物（如代谢产物或加合物）。暴露标志物的研究应贯穿疾病的“上游”（疾病病因）及“下游”（预测与诊断）研究。然而，目前可靠的暴露标志物数量极其有限，研究手段也多局限在对现有生物标志物的浓度检测方面，能够获取的信息有限，导致无法准确辨析疾病发生中的各类复杂

因素。

（2）难以获得疾病与污染之间因果关系的科学证据。目前的研究结果大多是通过流行病学研究获得，通常采用问卷调查的方式获取辐射、气候、环境污染等外暴露信息，但人体内暴露化学物质的种类和水平无法通过问卷调查和地理气象资料查询获得。目前的研究大多关注的是疾病与单一或几种环境因素的关联关系；但面对混杂多因素时，关联性分析很难辨析出风险因素与疾病的因果关系，绝大多数关联关系的内在科学证据仍然不足。这导致很多疾病的环境诱因及致病机制仍无法明确。

（3）基于人群获得的方法和结论无法用于个体风险评估。目前，病因学研究多基于大范围的人群调查[9-11]。但是，由于个体之间的疾病易感性及生活环境差异巨大，基于人群大数据获得的方法和结论不能直接用于个体风险评价。同样，由于暴露标志物的缺乏，对个体的风险评估仍然极为困难。

（4）外源污染因素诱导疾病发生的机制不明。由于疾病发生往往是多因素共同作用下的复杂过程，对其发生机制的研究高度依赖于识别、检测和追踪等化学工具。但是，由于相关研究手段和标志物的缺乏，很多外源因素诱发疾病的机制和关键生理过程并不明确，因而造成预防和诊疗的靶点无法定位。因此，环境健康研究急需新的思路、新的途径和新的手段，以厘清不同因素在疾病发生发展中的作用与机制。

5 面对新需求的基础研究学科建设

当前，为了积极应对气候变化，2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和已成为我国经济和社会发展的重要目标，且必将深刻影响我国能源结构和环境污染形势。由于环境健康问题既涉及不同学科领域，也涉及从微观到宏观不同的研究层面，学科交叉创新无疑是解决环境健康问题的必经之途，这也给相关基础研究提出了新的要求。考虑到现有研究链条的薄弱环节，亟待加强以下领域的研究力量和投入。

（1）暴露组学。“暴露组学”（exposomics）是随着环境健康科学发展而产生的新的研究领域；其与基因组学（genomics）的概念相匹配，凸显了环境对健康的影响。基因组学在近几十年发展突飞猛进，全基因组关联分析被广泛应用于解释人类的疾病病因。但事实上，基因组只能解释 10% 的慢性疾病病因，还有 90% 的病因与环境暴露因素有关。为此，Wild[16]于 2005 年首次提出暴露组的概念——指研究对象从胚胎到死亡所受到的所有环境暴露的总和。与传统的暴露科学相比，暴露组学更关注环境与机体的动态作用，因此在方法学上面临巨大的挑战。暴露组学可分为外暴露和内暴露，前者通过测量外环境中的各种暴露因素来筛查健康风险物质，而后者关注人体内环境中与暴露相关的所有因素，因此对于厘清环境暴露与疾病的关系能提供更为直接的证据。虽然目前尚无成熟的暴露组学研究方法，但近年来该领域发展十分迅速。在 2015 年启动的国家自然科学基金“大气细颗粒物的毒理与健康效应”重大研究计划中，已经布局了关于暴露组学的研究内容。未来这个领域的研究还需进一步加强。

（2）超痕量测量、表征与溯源方法学。环境健康研究建立在对环境和人体中污染物及生物标志物精确测量的基础上，而环境和人体中的污染物普遍具有浓度极低和基质复杂 2 个特点。例如，外源性污染物在人体内的赋存浓度比药物或内源性物质一般要低 4 个数量级以上，这给测量和表征都带来了极大的困难[17]，而复杂基质的干扰使测量难度进一步加剧。此外，由于暴露组全局分析和动态的特点，急需完善和应用非靶向分析（non-target analysis）和效应导向分析（effect-directed analysis）方法，而对疾病病因的辨识则需要结合化学溯源工具来追踪暴露标志物的来源[18]。通过对人体内外源污染物的识别、表征和来源解析，才能阐明污染物在人群和个体中的真实赋存

状态和跨生物屏障转运机制，建立内暴露和外暴露的关系，以及揭示污染物在人体内的生命周期和致病机制。

（3）分子流行病学。分子流行病学是传统流行病学与先进测量科学、分子生物学、毒理学等交叉的学科；其将流行病学现场研究和实验室化学测量结合起来，以阐明疾病的病因和分子机制。分子流行病学特别关注疾病发生的不同生物学阶段的生物标志物的发现，并探讨其与外暴露和健康结局之间的关联。这对于从复杂因素中辨识关键致病诱因并深入阐明其基因-环境交互作用机制至关重要。分子流行病学也关注建立和发展预防导向的生物标志物，以提高健康风险评价的精度。

（4）环境大数据。测量技术和组学的快速发展催生了海量环境数据的产生，从这些海量数据中获取有效信息需要环境科学、信息学、统计学等多学科工具。通过计算毒理学和组学分析等手段，结合人群、队列及暴露组分析得到的大数据，能够揭示与外源污染物毒性作用的关键分子起始反应，以及污染物与体内生物分子的相互作用过程，进而阐明污染物生物感知与识别、基因网络调控机制，建立污染物毒性预测和评价模型。

（5）人工智能。人工智能尤其是机器学习的发展为环境健康问题的解决提供了前所未有的契机。目前，机器学习已经在环境健康研究中崭露头角，在大气污染控制、污染溯源、化合物毒性评价与预测、疾病诊断等方面都表现出强大的应用潜力，未来也必将成为解决环境健康问题的有力工具。

（6）健康导向的精准污染防控技术。辨识区域高发疾病中的环境污染诱因的最终目的是控制污染的健康危害并提供相应的政策建议。环境致病因素的精准辨析给污染防控工作提供了科学依据。未来，需要结合关键致病污染物及其来源，开发个体污染防护器件，从而将个体防护和人群防护相结合，改变以往“一刀切”的粗放式污染控制方式，实现健康导向、有的放矢的精准污染控制；通过针对高健康风险污染物进行精准定点打击，在污染防控和经济发展之间取得更好的平衡。

参考文献

1 江桂斌, 宋茂勇. 环境暴露与健康效应. 北京: 科学出版社, 2020.

2 Manolio T A, Bailey-Wilson J E, Collins F S. Genes, environment and the value of prospective cohort studies. Nature Reviews Genetics, 2006, 7(10): 812-820.

3 Rappaport S M, Smith M T. Environment and disease risks. Science, 2010, 330: 460-461.

4 Zhang S W, Sun K X, Zheng R S, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2015. Journal of the National Cancer Center, 2021, 1(1): 2-11.

5 Cohen A J, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. The Lancet, 2017, 389: 1907-1918.

6 Zhou M G, Wang H D, Zeng X Y, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The Lancet, 2019, 394: 1145-1158.

7 Baumgartner J, Zhang Y, Schauer J J, et al. Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China. PNAS, 2014, 111(36): 13229-13234.

8 Chen H, Kwong J C, Copes R, et al. Living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson’s disease, and multiple sclerosis: A population-based cohort study. The Lancet, 2017, 389: 718-726.

9 Tomasetti C, Vogelstein B. Variation in cancer risk among tissues can be explained by the number of stem cell divisions.

Science, 2015, 347: 78-81.

10 Tomasetti C, Li L, Vogelstein B. Stem cell divisions, somatic mutations, cancer etiology, and cancer prevention. Science, 2017, 355: 1330-1334.

11 Wu S, Powers S, Zhu W, et al. Substantial contribution of extrinsic risk factors to cancer development. Nature, 2016, 529: 43-47.

12 赫捷, 陈万青. 2012中国肿瘤登记年报. 北京: 军事医学科学出版社, 2013.

13 Mumford J L, He X Z, Chapman R S, et al. Lung cancer and indoor air pollution in Xuan Wei, China. Science, 1987, 235: 217-220.

14 Li J H, Ran J J, Chen L C, et al. Bituminous coal combustion and Xuan Wei Lung cancer: A review of the epidemiology, intervention, carcinogens, and carcinogenesis. Archives of Toxicology, 2019, 93(3): 573-583.

15 Bloszies C S, Fiehn O. Using untargeted metabolomics for detecting exposome compounds. Current Opinion in Toxicology, 2018, 8: 87-92.

16 Wild C P. Complementing the genome with an "exposome": The outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 2005, 14(8): 1847-1850.

17 Lu D W, Luo Q, Chen R, et al. Chemical multi-fingerprinting of exogenous ultrafine particles in human serum and pleural effusion. Nature Communications, 2020, 11: 2567.

18 Liu Q, Hintelmann H, Jiang G B. Natural stable isotopes: New tracers in environmental health studies. National Science Review, 2016, 3(4): 410.

New Demands in Basic Research on Environmental Pollution and Health in China

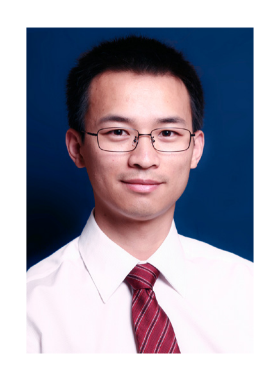
LIU Qian* QU Guangbo LU Dawei

(State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract The complex environmental pollution in China greatly threatens the human health. Although the pollution control policies have taken a great effect in recent years, the resultant long-term, chronic health risks are still concerned. Until now, the causes of many regional high-incidence diseases are still unclear. In order to solve these environmental health problems, we need multi-disciplinary innovations in basic research to establish the comprehensive research chain of "pollution process–human exposure–body response–disease development". We need breakthroughs in interdisciplinary fields including exposomics, ultratrace measurement and source tracing methodology, molecular epidemiology, environmental big data, and artificial intelligence. Only in this way can we achieve the health risk-oriented precise prevention and control of environmental pollution.

Keywords environmental pollution, health effect, exposure, etiology, toxicology

*Corresponding author



刘 倩 中国科学院生态环境中心研究员，环境化学与生态毒理学国家重点实验室副主任。中国环境科学学会环境化学分会秘书长，中国科学院青年创新促进会第三届理事会理事长。主要研究领域：环境分析化学、环境污染与健康。主持国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金原创探索计划项目、中国科学院前沿重点项目等研究。获中国科学院青年科学家奖、第二届科学探索奖、中国分析测试协会科学技术奖（CAIA）特等奖、《麻省理工科技评论》“35岁以下科技创新35人”中国区榜单（MIT TR35 China）等。E-mail: qianliu@rcees.ac.cn

LIU Qian Full Professor at the Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences (RCEES, CAS), Deputy Director of the State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Secretary of the Environmental Chemistry Committee of Chinese Society for Environmental Sciences, President of the Third Council of the Youth Innovation Promotion Association of CAS. His research interests include environmental analytical chemistry and environmental health science. He is the recipient of the National Science Fund for Distinguished Young Scholars of National Natural Science Foundation of China (NSFC), and sponsored by the Original Exploration Program of NSFC and Key Frontier Research Program of CAS. He has won the XPLORER Prize, Young Scientist Award of CAS, Grand Prize of Science and Technology Award of China Association for Instrumental Analysis (CAIA), Second Prize of National Natural Science Award, and MIT Technology Review Innovators Under 35 China (MIT TR35 China). E-mail: qianliu@rcees.ac.cn

■责任编辑：岳凌生